

1. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. – М: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
3. Убейко В.Н. Экспертные системы. – М.: МАИ, 2000. – 560 с.

Получено 19.06.2006

УДК 629.423.1

О.Н.СИНЧУК, д-р техн. наук

ОАО «Электрические машины», г.Харьков

А.Ф.СИНОЛИЦЫЙ

Криворожский технический университет

А.П.ЧЕРНЫЙ

Кременчугский государственный политехнический университет

О.В.ПАСЬКО

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ТЯГОВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Рассматриваются вопросы управления процессами преобразования энергии в тяговом электроприводе переменного тока с асинхронными двигателями при несимметричных режимах работы, предложено пути повышения эффективности их работы.

Весьма перспективным направлением развития тягового электропривода (ТЭП) вообще и рудничного, в частности, является ТЭП на базе асинхронных двигателей, более надежных и неприхотливых в эксплуатации, меньших габаритов и стоимости, обладающих жесткой характеристикой, гарантирующей высокие противобуксовочные свойства локомотива.

В области ТЭП с асинхронными двигателями имеются научные обоснования, подтверждающие его эффективность. Однако еще остается ряд нерешенных вопросов, позволяющих более эффективно использовать все энергоэкономические возможности этого типа ТЭП. Связано это с тем, что условия работы ТЭП рудничных электровозов весьма специфичны и подвержены влиянию ряда факторов:

- жесткие ограничения массо-габаритных показателей;
- вид исполнения электрооборудования;
- невозможность переноса результатов исследований, полученных и апробированных для магистрального или промышленного транспорта на рудничный.

Относительно последнего, то следует особо подчеркнуть, что такой перенос не дает не только ожидаемого эффекта, но в большинстве

своем вообще неприемлем к практике рудничного электровозостроения.

Главная причина, из которой вытекают последствия – это вид исполнения электрооборудования, в нашем случае – это РВ (рудничное взрывобезопасное), что подразумевает помещение электрооборудования во взрывонепроницаемую или, что тоже самое, в воздухонепроницаемую оболочку и, таким образом, минимизирует в данном случае процесс отвода тепла от силовых электрических элементов с естественными дополнительными потерями электрической энергии а, следовательно, и нагревом элементов.

Для частотного регулирования ТАД предлагается использовать IGBT-инверторы, при этом из силовой цепи исключается практически вся контакторная аппаратура за исключением ходового (линейного) контактора, который переключается в обесточенном состоянии.

Несмотря на более высокую стоимость инверторов по сравнению с импульсными преобразователями постоянного тока, суммарная стоимость электрооборудования переменного тока ожидается меньшей, чем постоянного тока.

Однако здесь появляется вопрос создания алгоритмов управления импульсным преобразователем в случае возникновения псевдоаварийных режимов ТАД в силу:

- искажения симметрии напряжения питающей сети;
- несимметрии сопротивлений в цепях ротора и статора;
- несимметричной схемы соединения обмоток двигателя.

Несимметричные режимы создают асимметрию токов в фазах АД, что отрицательно сказывается как на электрической, так и на механической части ТЭП. Это является причиной невидимых визуально механических повреждений как самого ТЭД, в которых изменяются электромагнитные процессы, так и негативное влияние на процессы во всей системе ТЭП. К сожалению, доля этих режимов в общем объеме работы ТЭП может оказаться весьма значительной.

Как показали исследования, в таких режимах работает 100% ТЭП рудничных электровозов уже после одного-двух месяцев после начала их эксплуатации [1, 2]. При этом важно знать не только динамику процессов преобразования энергии, но и оценить степень влияния слагаемых, вызывающих нештатные режимы, на количественную их оценку в данном типе электропривода, т.е. алгоритм управления преобразователем ТАД должен адаптивно компенсировать появляющиеся несимметричные режимы, возможность проявления которых в условиях рудничной электровозной тяги весьма велика [3].

Для данных исследований с помощью характеристической матри-

цы z-формы находим зависимость токов от напряжений ТАД. В общем случае аналитическое выражение этой зависимости имеет сложный вид и в данной работе не приводится [3]. При симметрии взаимоиндуктивностей между статором и ротором ТАД матрица проводимостей приобретает достаточно простой вид:

$$\vec{U} = \vec{Z} \vec{I} \Rightarrow \vec{I} = \vec{Z}^{-1} \vec{U}. \quad (1)$$

Матрица комплексных проводимостей

$$\begin{bmatrix} I_{S1} \\ I_{S2} \\ I_{R1} \\ I_{R2} \end{bmatrix} = \frac{1}{\det(Z)} \begin{bmatrix} Z_{R1} \left[U_{S1} (Z_0 Z_{R2} + X_\mu^2) - U_{S2} Z_1 Z_{R2} \right] \\ Z_{R2} \left[U_{S2} (Z_0 Z_{R1} + X_\mu^2) - U_{S1} Z_2 Z_{R1} \right] \\ -jX_\mu \left[U_{S1} (Z_0 Z_{R2} + X_\mu^2) - U_{S2} Z_1 Z_{R2} \right] \\ -jX_\mu \left[U_{S2} (Z_0 Z_{R1} + X_\mu^2) - U_{S1} Z_2 Z_{R1} \right] \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где

$$\det(Z) = (Z_0^2 - Z_1 Z_2) Z_{R1} Z_{R2} + X_\mu^2 Z_0 (Z_{R1} + Z_{R2}) + X_\mu^4. \quad (3)$$

Приравняв обратный ток ротора к нулю (условие компенсации), находим искомую асимметрию напряжений:

$$\frac{U_{S2}}{U_{S1}} = \frac{Z_2 Z_{R1}}{Z_0 Z_{R1} + X_\mu^2}. \quad (4)$$

Полученное уравнение (4) и есть искомое уравнение компенсации АД.

В эквивалентном симметричном двигателе

$$\underline{Z}_S = \underline{Z}_0. \quad (5)$$

Если двигатель стал асимметричным в результате увеличения, а не уменьшения активных сопротивлений, то эти дополнительные сопротивления вызовут увеличение тепловых потерь, а следовательно и уменьшение КПД скомпенсированного АД по сравнению с исходным «симметричным» двигателем (рис.1).

За базисную лучше всего принимать фазу ТАД с наименьшим активным сопротивлением. При активной асимметрии одной фазы (обозначим её "А"), сопротивление фазы "А" наибольшее, а ток этой фазы наименьший, следовательно, для компенсации асимметрии потребуются уменьшать напряжения в фазах "В" и "С":

$$\begin{cases} E_{AK} = E_A \\ E_{BK} = \beta \cdot E_B \\ E_{CK} = \gamma \cdot E_C \end{cases} \quad (6)$$

Индексом "К" здесь обозначены компенсирующие ЭДС.

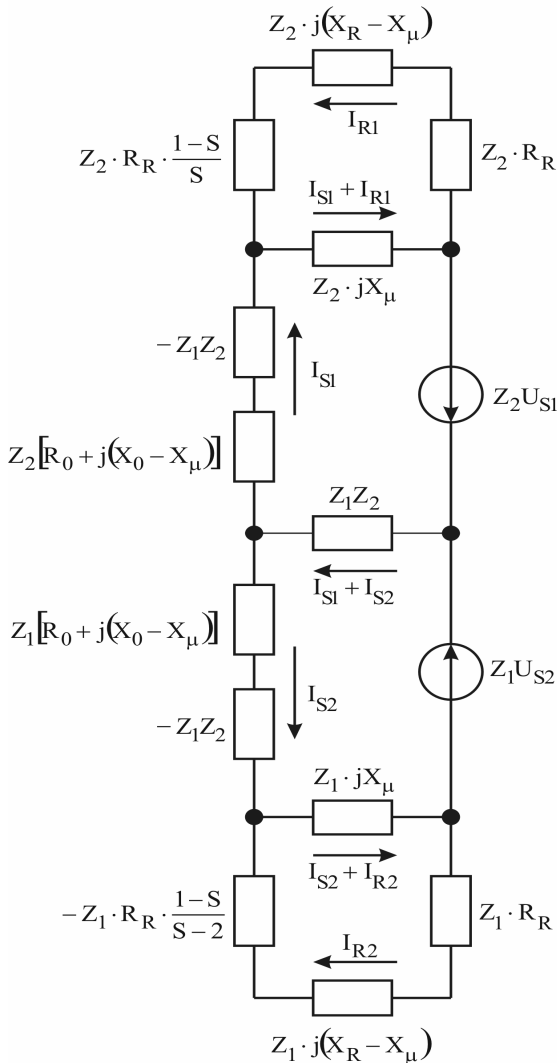


Рис.1 – Схема замещения ТАД на основе Z-формы уравнений

Коэффициенты β и γ , зависящие от скольжения, при активной асимметрии одной из фаз определяются:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_E = R_R^2 (R_0^2 + X_S^2) + 2R_0 R_R X_\mu^2 S + (\Delta^2 + R_0^2 X_R^2) \cdot S^2 \\ \beta = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{9K_E + 2\sqrt{3}\Delta R_A [\Delta \cdot X_R \cdot S^2 - R_R^2 \cdot X_S]}{3K_E + 2\Delta R_A [R_0 X_R^2 S^2 + R_R X_\mu^2 S + R_0 R_R^2]} \\ \gamma = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{9K_E - 2\sqrt{3}\Delta R_A [\Delta \cdot X_R \cdot S^2 - R_R^2 \cdot X_S]}{3K_E + 2\Delta R_A [R_0 X_R^2 S^2 + R_R X_\mu^2 S + R_0 R_R^2]} \\ R_0 = R_S + \frac{\Delta R_A}{3} \\ \Delta = X_\mu^2 - X_S X_R \end{array} \right. \quad (7)$$

Анализируя полученные выше уравнения нужно все же сделать оговорку, что они (уравнения) позволяют вести поиск режимов компенсации асимметрии параметров ТАД в достаточных, но все же ограниченных пределах [4].

В общем же случае, для поиска режимов компенсации асимметрии, аналитические уравнения получаются слишком громоздкими, а в отдельных случаях, если одновременно с асимметрией параметров статора существует и асимметрия параметров роторных цепей, аналитическое решение вообще неосуществимо. В этом случае решение задачи компенсации может быть получено при помощи оптимизационных поисковых алгоритмов: покоординатного спуска, регулярного симплекса или более эффективных, но и более сложных и требующих большего времени поиска: Хукка-Дживса, Нелдера-Мида (деформируемого симплекса). Один из таких алгоритмов реализован при поиске режима компенсации асимметрии ТАД. Для микропроцессорной системы управления и компенсации эффективным является метод поиска на основе чисел Фибоначчи, основным достоинством которого является возможность задания количества шагов поиска при незначительной потере точности.

Реализованный алгоритм является модификацией алгоритма, построенного по методу покоординатного спуска. Однако в отличие от стандартного алгоритма используется не метод «золотого сечения», а разновидность градиентного метода, когда направление поиска идет в направлении наиболее перегруженной по току фазы статора. Упрощенный алгоритм СУ ТЭП приведен на рис 2.

Результаты исследований отражают изменение электромагнитного момента и потребляемой мощности при пуске «асимметричного»

АД и с превентивной компенсацией асимметрии (рис.3). В установившемся режиме с номинальной нагрузкой на валу асимметрия сопротивлений статора приводит к появлению переменной составляющей момента и мощности (рис.4, 5, кривые 1). Использование уравнений компенсации в системе управления ИП позволяет практически исключить переменную составляющую момента и мощности (рис.4, 5, кривые 2).



Рис.2 – Алгоритм работы подсистемы управления по поиску режимов компенсации асимметрии параметров ТАД

На рис.6, 7 в качестве примера приведены соответствующие изменения значений фазных токов и напряжений.

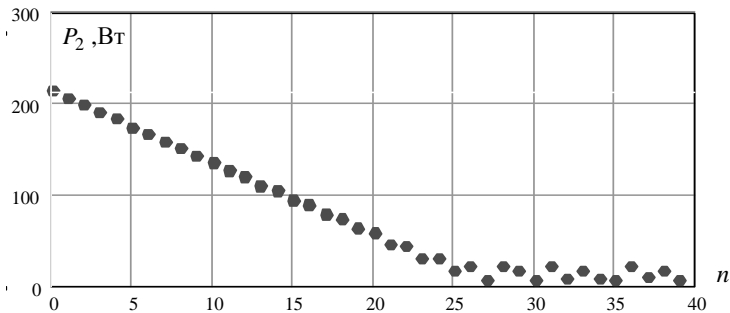


Рис.3 – Диаграмма «пошаговой» компенсации асимметрии ТАД при нагрузке $0,25M_n$ (минимизация амплитуды переменной составляющей мгновенной мощности)

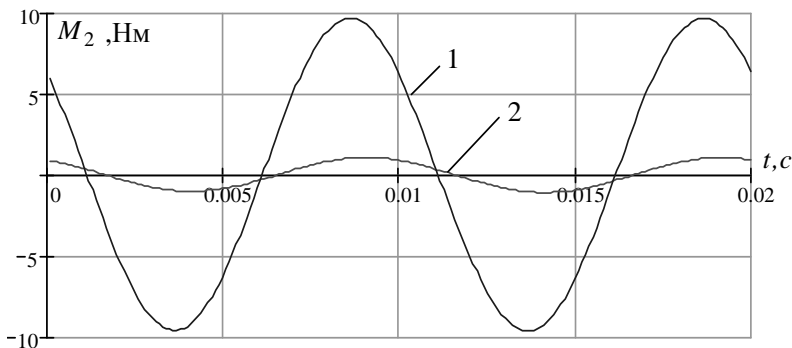


Рис.4 – Переменная составляющая момента ТАД с асимметрией активных сопротивлений статора 20% при нагрузке $0,25M_n$:
1 – при симметричном питании; 2 – при компенсации асимметрии.

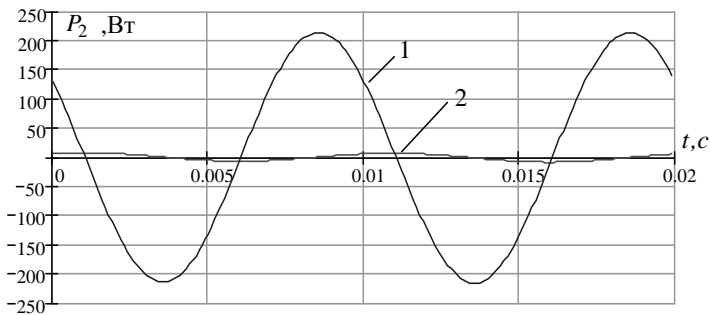


Рис.5 – Переменная составляющая мгновенной мощности ТАД с асимметрией активных сопротивлений статора 20% при нагрузке $0,25M_n$:
1 – при симметричном питании; 2 – при компенсации асимметрии.

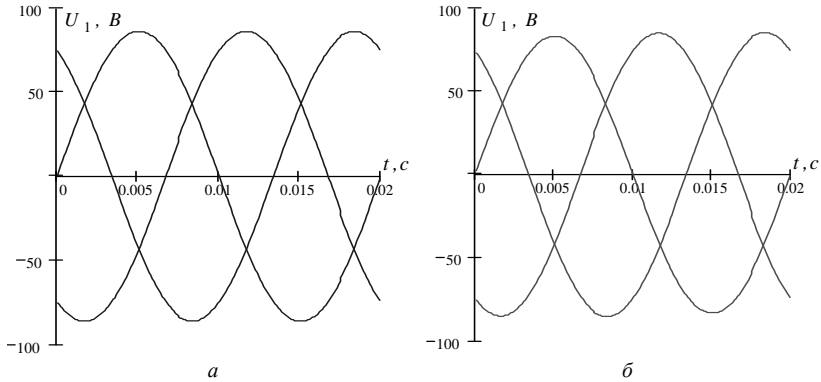


Рис.6 – Фазные напряжения на статоре ТАД с асимметрией индуктивности статора 5% при нагрузке $1,0M_n$:
а – до компенсации; б – после компенсации.

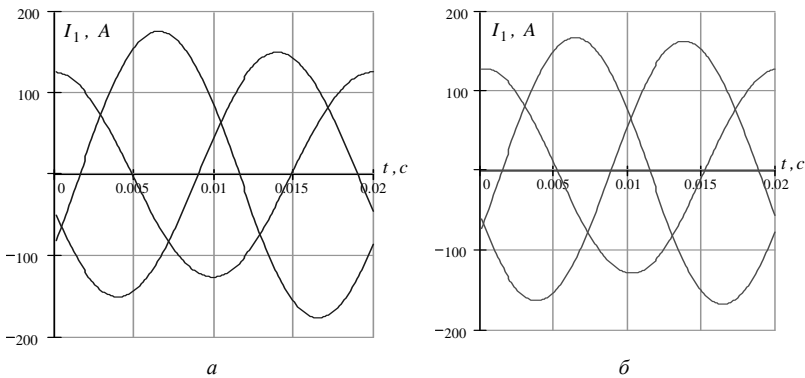


Рис.7 – Фазные токи ТАД с асимметрией индуктивности статора 5% при нагрузке $0,1M_n$:
а – до компенсации; б – после компенсации.

Таким образом, анализ электромагнитных процессов при комплексной асимметрии токов и напряжений в цепях ТЭП и получение при этом уравнения компенсации позволяет создать адаптивный алгоритм управления ИП, позволяющий повысить электроэнергетические показатели и надежность работы системы ИП-ТАД.

1. Синчук О.Н., Синчук И.О., Гузов Э.С. Псевдоактивный подход к повышению надежности тягового электропривода рудничных электровозов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. – 2003. – №8 (66). – С.151-155.

2. Синчук О.Н., Чумак В.В., Ершов О.В. Импульсные системы управления и защиты на рудничном электровозном транспорте. – К.: АДЭФ-Украина, 1998. – 280 с.

3.Черный А.П., Пасько О.В. Адаптивное управление процессами преобразования энергии в асинхронном тяговом электроприводе с частотным регулированием напряжения питания рудничного аккумуляторного электровоза // Гірничя електромеханіка та автоматика. Вип.72. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2004. – С.156-161.

4.Пасько О.В. Исследования электромагнитных процессов в тяговом асинхронном электроприводе рудничных электровозов // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків, 2004. – №4 (10). – С.89-93.

Получено 29.06.2006

УДК 69.059 : 69.001.89

А.Д.ЄСИПЕНКО, канд. техн. наук

Науково-дослідний центр НДІБВ Міністерства будівництва, архітектури і житлово-комунального господарства України, м.Київ

ЗАПОБІГАННЯ ВИНИКНЕННЮ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ШТУЧНИХ СПОРУДАХ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Розглядаються питання виникнення аварійних ситуацій на штучних спорудах, зокрема метрополітену. Наводяться заходи по усуненню їх наслідків, що може бути використано при розробці відомчого нормативного документу з питання забезпечення безаварійної роботи транспортних систем.

Сучасний техногенний стан території України визначає актуальність та необхідність системного підходу до розв'язання проблем в основних галузях економіки. Забезпечення техногенної безпеки, попередження аварій і надзвичайних ситуацій техногенного характеру, як складової забезпечення техногенних та екологічно безпечних умов життєдіяльності суспільства та його громадян, є невід'ємною частиною політики національної безпеки держави.

В останній час значно виріс інтерес до проблеми людського фактора в питаннях безпеки на транспорті, а також забезпечення надійної безаварійної експлуатації транспортних систем.

Сьогодні розроблено достатньо технічних рішень, спрямованих на запобігання виникненню аварійних ситуацій на спорудах метрополітену [1-5].

Щорічно у світі на ліквідацію наслідків аварій і нещасних випадків витрачається близько 4% світового внутрішнього валового продукту. Досвід свідчить, що попередження промислових аварій набагато ефективніше, ніж ліквідація їх наслідків. Вирішення цих проблем – найважливіше завдання, яке найшло своє відображення в нормативних актах.

Метрополітен відноситься до потенційно небезпечних об'єктів.

Нині розроблено «Положення з питань обстеження, оцінки технічного стану, паспортизації та поточної експлуатації штучних споруд